



**ПУД**

**Олександр Аркадійович** — доктор хімічних наук, професор, завідувач відділу хімії функціональних матеріалів Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України

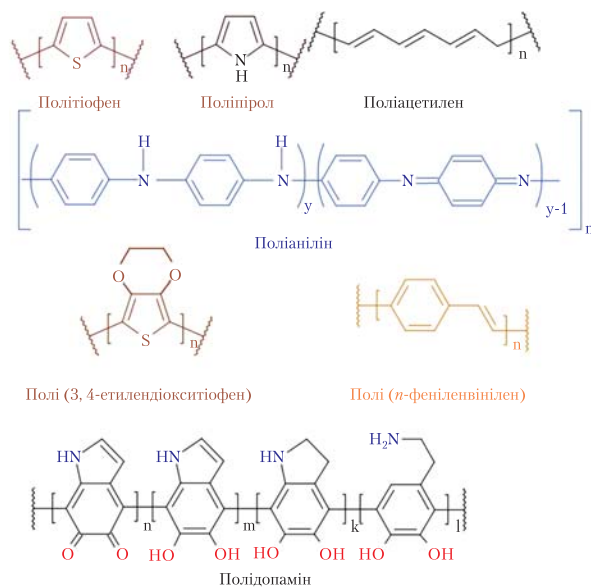
## **НАНОКОМПОЗИТИ СПРЯЖЕНИХ ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ СЕНСОРНИХ ЗАСТОСУВАНЬ**

**За матеріалами доповіді на засіданні  
Президії НАН України 20 вересня 2023 року**

*У доповіді розглянуто результати проведених в Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України фундаментальних і прикладних досліджень, спрямованих на розроблення та вивчення нових багатофункціональних гібридних нанокompозитів спряжених полімерів з оборотною чутливістю до різних фізичних та хімічних впливів і здатністю реєструвати або відчувати зміни в атмосфері або диханні хворих, переносити у своєму складі діагностичні препарати чи ліки в організмі людини, поглинати іони важких металів і токсичні органічні сполуки з різних природних вод та інших середовищ, екранувати/абсорбувати електромагнітне випромінювання тощо. Особливу увагу приділено застосуванню розроблених матеріалів для сорбції шкідливих сполук з водних середовищ та дослідженню латексів нанокompозитів електропровідних полімерів з термо- і світлочутливістю.*

Вибір для доповіді саме цієї теми пов'язаний з важливістю й поширеністю різних нанокompозитних матеріалів не лише для сенсорних застосувань у традиційному розумінні цього терміна, а й для дотичних до сенсорики застосувань, які потребують від нанокompозитів здатності оборотно реагувати на різні зовнішні впливи (температура, рН середовища, світло, електромагнітне випромінювання, зміни у складі повітря та природних вод тощо). Наслідком таких взаємодій є зміна фізичних та фізико-хімічних характеристик нанокompозитів, наприклад електропровідності, кольору, електронного спектра поглинання, об'єму, температури, гідрофільності та гідрофобності та ін. З огляду на це такі матеріали часто називають «розумними» [1, 2].

Очевидно, що така здатність нанокompозитів може реалізовуватися лише завдяки властивостям компонентів, що входять до їх складу. З іншого боку, зрозуміло, що, оскільки таких компонентів досить багато, нанокompозити з них варіабельні за властивостями, технологіями виготовлення, функціональністю, що, у свою чергу, вимагає проведення великого обсягу



**Рис. 1.** Приклади спряжених полімерів у напівпровідниковому недопованому стані

досліджень з їх розроблення і накладає обмеження щодо вибору компонентів.

Наноккомпозити спряжених полімерів порівняно з іншими наноккомпозитними матеріалами мають певну перевагу, оскільки їхні полімерні компоненти, тобто спряжені полімери, є багатофункціональними, відносно легко модифікуються і досить легко утворюють наноккомпозити з різними матеріалами, часто також зі здатністю до оборотних взаємодій [3]. Це дозволяє формувати такі розумні наноккомпозитні матеріали для різних типів сенсорних застосувань, наприклад для визначення різних шкідливих газів чи маркерів хвороб у повітрі або диханні хворих; доставки діагностичних препаратів або ліків до певних органів в організмі людини; спрямованих вузьколокалізованих високотемпературних та інших фізичних впливів безпосередньо на хворі органи; у мембранних системах; для генерації та зберігання електричної енергії; видалення токсичних сполук з водних середовищ; захисту від електромагнітного випромінювання тощо.

Що ж таке спряжені полімери і які в них функціональні властивості? Це органічні макромоллекули різної природи та будови, однак

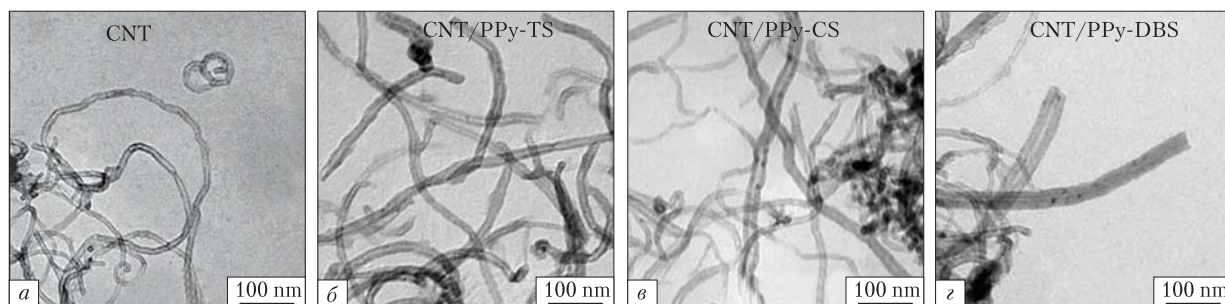
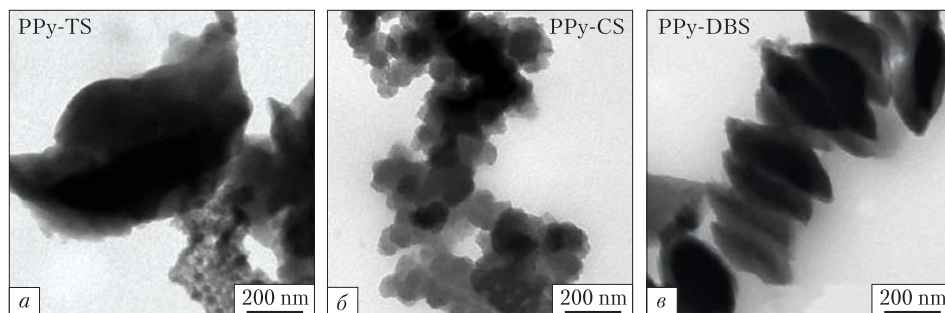
їх об'єднує те, що в основному ланцюгу вони містять подвійні та одинарні зв'язки, що чергуються. *p*-орбіталі подвійних зв'язків перекриваються і створюють лабільну спряжену систему делокалізованих  $\pi$ -електронів, що й надає цим полімерам цікаві електронні властивості, за які їх називають полімерами з внутрішньо притаманною електропровідністю.

Деякі з відомих спряжених полімерів у напівпровідниковому недопованому стані наведено на рис. 1. Це, зокрема, політіофен, поліпірол, поліацетилен, поліанілін і навіть біополімер полідопамін. Завдяки спряженому ланцюгу ці полімери мають унікальні оптичні та напівпровідникові властивості [4]. Деякі з них використовують, наприклад, у світлодіодах, сонячних елементах, польових транзисторах. Якщо ж видалити з їх спряженої системи частину електронів, вони стають позитивно зарядженими, або, як кажуть фізики, *p*-допованими, і значною мірою втрачають свої оптичні властивості, однак при цьому стають дійсно електропровідними, а тому більш придатними вже для інших застосувань, таких як сенсорні та мембранні системи; матеріали для біомедичного застосування; електромагнітне екранування, антистатичний та антикорозійний захист; використання їх як батарей; каталіз та електрокаталіз [4].

Загалом доповані електропровідні спряжені полімери можна отримати трьома методами. Першим і найпростішим методом є окиснювальна полімеризація відповідного мономеру, яка завжди дає допований стан такого полімеру. Другий метод доповання — окиснення недопованих спряжених полімерів, крім поліаніліну або його похідних. І третій — взаємодія недопованого поліаніліну з кислотою та протонування його імінних азотів.

Чому зроблено такий наголос на допованні спряжених полімерів? А тому, що разом з провідністю неминучим наслідком цього процесу є поява в позитивно зарядженому (*p*-допованому) спряженому полімері заряд-компенсуючих аніонів-допантів, які мають істотний вплив на провідність, морфологію, розчинність, механічні, сенсорні та інші властивості електропровідних полімерів та їх композитів.

**Рис. 2.** Вплив на властивості поліпіролу різних допантів: *a* – *n*-толуолсульфонатний аніон (PPy-TS); *б* – камфорсульфонатний аніон (PPy-CS); *в* – додецилбензолсульфонатний аніон (PPy-DBS) [5]



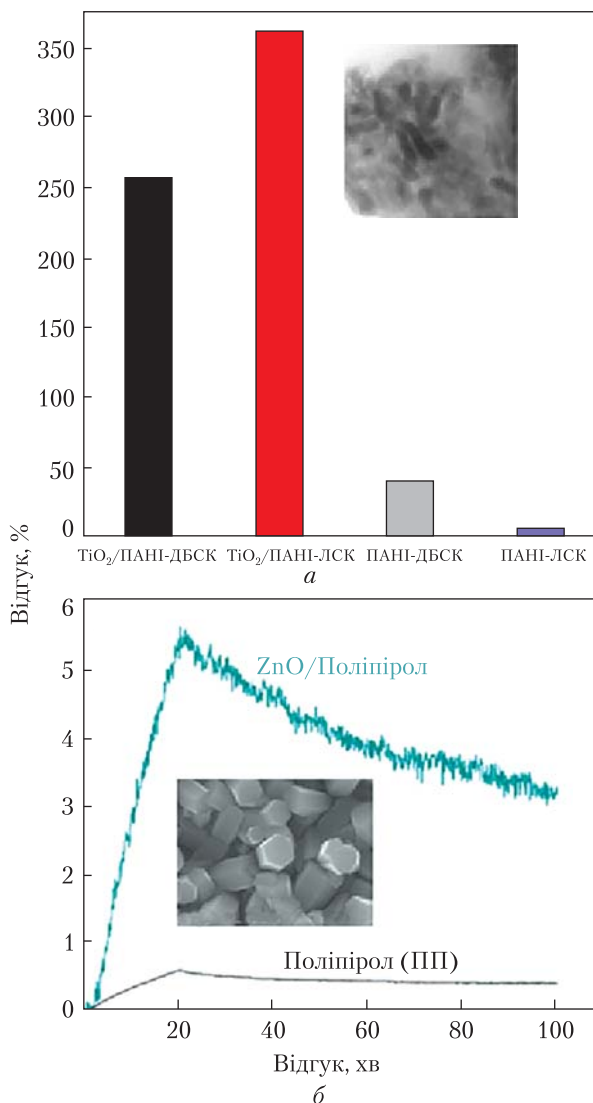
**Рис. 3.** Морфологічні та структурні ефекти в нанокompозитах вуглецевих нанотрубок з поліпіролом, допованим сульфонатними допантами різного розміру [5]: *a* – ВНТ (діаметр 6–15 нм); *б* – ВНТ з оболонкою PPy-TS (2–4 нм); *в* – ВНТ з оболонкою PPy-CS (4–5 нм); *г* – ВНТ з оболонкою PPy-DBS (5–11 нм)

Це можна проілюструвати на прикладі синтезованих нами наночастинок поліпіролу (PPy) [5]. Так, для найменшого допantu *n*-толуолсульфонатного аніона (TS, молекулярна маса = 171) спостерігаються агломеровані маленькі наночастилки; для середнього за розміром камфорсульфонатного допantu (CS, молекулярна маса = 231) – сферичні наночастилки, а для найбільшого і поверхнево-активного допantu додецилбензолсульфонатного аніона (DBS, молекулярна маса = 325) – наночастилки у формі мушлі (рис. 2).

Властивості цих поліпіролів також залежать від допantu. Наприклад, їх ступінь кристалічності зменшується в ряду 13,9 % (PPy-TS) > 10,7 % (PPy-CS) > 7,7 % (PPy-DBS), тоді як ступінь  $\pi$ -спряження їх полімерного ланцюга знижується в ряду 1,17 (PPy-TS) > 0,54 (PPy-CS) > 0,42 (PPy-DBS); а їх електропровідність (См/см) різко спадає в ряду 6,40 (PPy-TS) > 0,82 (PPy-CS) > 0,13 (PPy-DBS), що загалом свідчить про вищі характеристики таких полі-

піролів найменшого *n*-толуолсульфонатного допantu [5]. Зокрема, для сенсорних застосувань важливо, що електропровідність у цьому випадку найвища. Адже саме її або електричний опір використовують як ключовий параметр для фіксації хеморезистивних сенсорних відгуків створених нами матеріалів.

Річ у тім, що електропровідний спряжений полімер, який є *p*-допованим, при контакті з легкими токсичними сполуками діє або як донор, або як акцептор електронів, залежно від його ступеня окиснення, потенціалу іонізації та спорідненості до електрона й аналіту [6]. Фактично це означає, що, якщо полімер частково віддає електронну густину від власної спряженої системи до адсорбованих молекул аналіту, його позитивний заряд і, відповідно, провідність збільшуються. І навпаки, коли той самий електропровідний полімер діє як акцептор електронів, його позитивний заряд і провідність зменшуються [6]. На перший погляд, такі фізичні взаємодії виглядають дуже про-



**Рис. 4.** Сенсорні відгуки на аміак (10 ppm) у повітрі спряжених полімерів та їх наноконкомпозитів: *а* – поліаніліну, допованого додецилбензолсульфоновною кислотою (ДБСК) або лаурилсульфатною кислотою (ЛСК), і його наноконкомпозитів з наночастинками TiO<sub>2</sub>; *б* – поліпіролу, допованого хлорид аніонами, та його наноконкомпозиту з оксидом цинку

стими і їх ніби легко зареєструвати. Це було б так, якби взаємодія реалізовувалася на поверхні дуже тонкого шару сенсорного полімеру. Однак такі шари найчастіше мають товщину, більшу за кілька мікронів, і газовий аналіт досить повільно проходить всередину об'єму

полімеру, спричиняючи в результаті специфічних взаємодій зміни в конформації макромолекул та умовах для перенесення заряду. А це, у свою чергу, може зумовлювати відносно тривалі, часто недостатньо інтенсивні сенсорні відгуки на газові аналіти.

Цю проблему можна вирішити (принаймні частково), якщо використати наноконкомпозити спряжених полімерів, особливо з морфологією ядро–оболонка, де електропровідні полімерні шари/оболонки на носії-ядрі з іншого матеріалу мають товщину від одиниць до десятків нанометрів і часто не є суцільними. Такі матеріали отримують, зокрема, хімічною полімеризацією відповідних мономерів у присутності наночастинок різної природи та розмірів [7].

У своїх роботах ми підтвердили для багатьох наноконкомпозитів утворення за таких умов морфології ядро–оболонка і з'ясували, що якщо керувати як специфічними взаємодіями на межі поділу між компонентами наноконкомпозиту, так і умовами полімеризації, то можна контролювати структуру, морфологію, регулярність, електрофізичні, сенсорні та інші характеристики електропровідного спряженого полімеру в оболонці наноконкомпозитних частинок.

Зокрема, при переході від зразків поліпіролу з різними допантами, показаними на рис. 2, до їх наноконкомпозитів з вуглецевими нанотрубками (ВНТ) можна побачити на електронних знімках (рис. 3), що в усіх випадках ВНТ покриті відносно однорідною оболонкою поліпіролу, товщина якої зростає з розміром допantu [5]. Це свідчить про вплив аніонів допantu на відстані та міжмолекулярні взаємодії між полімерними ланками в оболонці.

У свою чергу, значне підвищення ступеня кристалічності поліпірольної фази в наноконкомпозитах (CNT/PPy-TS – 20,7%, CNT/PPy-CS – 18,3 %, CNT/PPy-DBS – 13,4 %) порівняно з чистим полімером (PPy-TS – 13,9 %, PPy-CS – 10,7 %, PPy-DBS – 7,7 %) чітко вказує на те, що поверхня вуглецевих нанотрубок відіграє значну структуроорганізуючу роль у впорядкуванні фази поліпіролу завдяки, очевидно, міжмолекулярним взаємодіям між усіма компонентами наноконкомпозиту [5]. Подібні



результати отримано й для інших нанокompatивів спряжених полімерів.

Зокрема, виявилось, що чим менший вміст спряженого полімеру в таких нанокompatивах і, відповідно, чим менша товщина його оболонки, тим вищий ступінь його кристалічності [5]. Ба більше, з'ясувалося, що в нанокompatивах можуть бути кращими й інші характеристики спряжених полімерів, такі як молекулярна маса, термостабільність, електропровідність тощо [5, 7–9]. Як наслідок, подібний вплив специфічних взаємодій має поширюватися і на практично важливі, зокрема сенсорні, властивості нанокompatивів спряжених полімерів.

Дійсно, в багатьох випадках (але не в усіх) відгуки нанокompatивів значно сильніші, ніж відгуки їх спряжених полімерних компонентів. Це спостерігається, наприклад, у разі отриманих нами відгуків на аміак поліаніліну і поліпіролу та їх нанокompatивів з оксидами титану та цинку (рис. 4).

Разом з тим, у деяких випадках для гібридних нанокompatивів спряжених полімерів з морфологією ядро–оболонка спостерігається антибатна залежність від вмісту сенсорного компоненту. Тобто чим менше спряженого полімеру в нанокompatиві, тим сильнішим може бути сенсорний відгук, що, зокрема, було нами показано для відгуків ряду нанокompatивів галуазитних нанотрубок і поліаніліну на пари аміаку [10] (рис. 5а).

Однак у випадку аналітів іншої природи такі нанокompatиви можуть реагувати складніше. Зокрема, для тих самих нанокompatивів ми встановили, що для ацетону та ізопропанолу інтенсивність відгуків значно менше залежить від вмісту поліаніліну, ніж для аміаку (рис. 5б). Проте тренд, що сенсорні властивості нанокompatиву кращі, все ж таки зберігається для більшості випадків.

Наслідком кращих сенсорних характеристик нанокompatивів спряжених полімерів є можливість їх використання для реєстрації низьких концентрацій газових аналітів. Зокрема, нам вдалося зареєструвати концентрації ррб-діапазону для деяких аналітів, що є критично важливим для створення газових хемо-

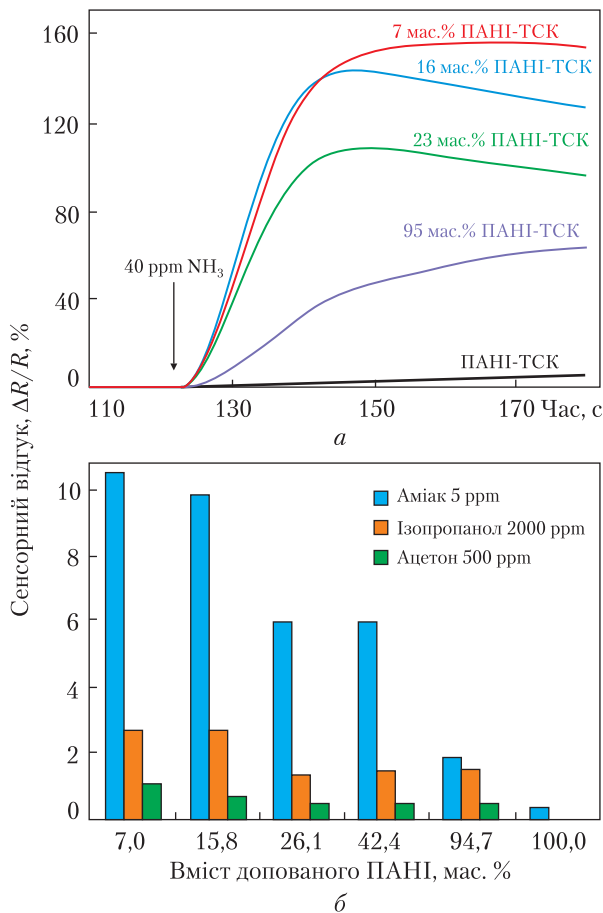
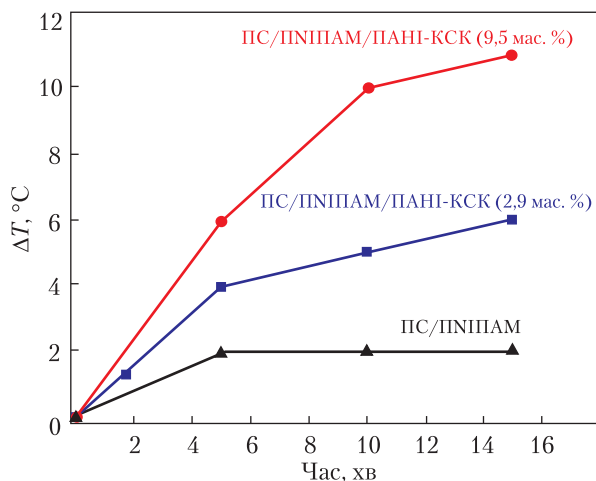


Рис. 5. Сенсорні відгуки нанокompatивів галуазитних нанотрубок і поліаніліну за різного вмісту спряженого полімеру на пари аміаку (а) та гістограма інтенсивності їхніх відгуків на різні аналіти (б)

резистивних сенсорів легких токсичних сполук та маркерів хвороб людини [9, 11, 12]. Так, завдяки можливості визначати концентрації аміаку до 1 ррм вже можна говорити про застосування таких нанокompatивів для діагностики хронічної хвороби нирок.

У випадку токсичних амінів та деяких інших сполук ми також наближаємося до визначення їх концентрацій в ррб-діапазоні [9, 13]. Однак для таких застосувань наших нанокompatивів потрібно не лише проводити хімічні та фізико-хімічні дослідження, а й тісно співпрацювати з фізиками та інженерами для створення відповідного обладнання [13]. Зокрема, ми



**Рис. 6.** Зміни критичної температури фазового переходу синтезованих латексів при інфрачервоному опроміненні [14]

вже багато років виконуємо спільні сенсорні дослідження і проводимо вимірювання на обладнанні, розробленому доктором фізико-математичних наук О.Л. Куклюю та його співробітниками з Інституту фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова НАН України [13].

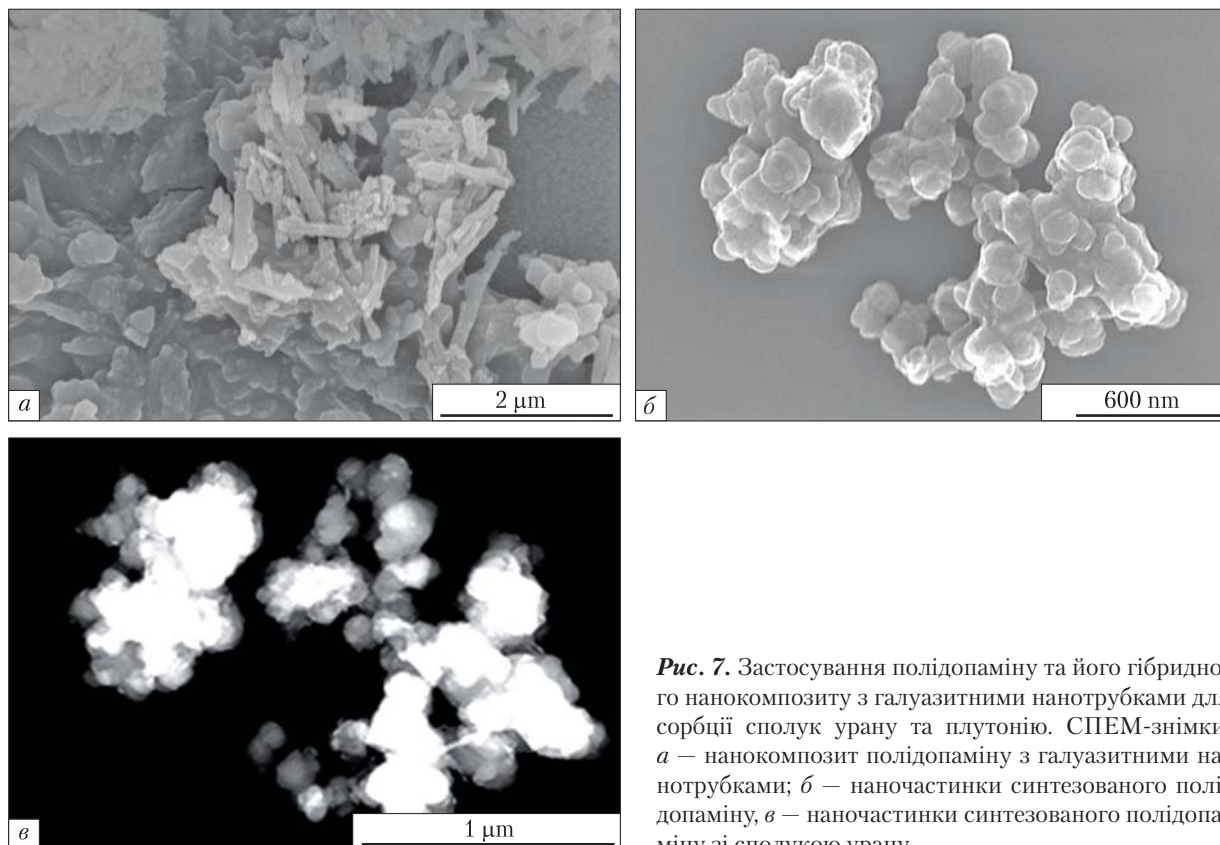
Це обладнання колеги постійно вдосконалюють, і воно вже дозволяє для деяких газових аналітів вимірювати одиниці ррб. Власне, ррб-рівня чутливості на деяких наших наноконструкціях досягнуто і в спільних дослідженнях з професором Ж.-Л. Вожкієвичем з Вищої технічної школи м. Дуе університету м. Лілль (Франція) [9, 11, 12]. Завдяки нашому співробітництву нам з партнерами вдалося виграти грант НАТО на проєкт зі створення солдатського бейджа.

У рамках зазначеного проєкту триває робота з синтезу, дослідження та оптимізації розумних сенсорних наноконструкцій спряжених полімерів, а також з розроблення портативного сенсорного пристрою. Напрацювання за цими двома напрямками мають поєднатися в солдатському сигнальному бейджі, налаштованому на оперативне детектування токсичних газів у повітрі та генерацію звукового і цифрового сигналу тривоги з можливістю реєстрації на екрані віддаленого мобільного терміналу (смартфона).

Очевидно, що є й інші прояви чутливості спряжених полімерів, які часто виявляються в поєднанні з іншими матеріалами з власною чутливістю до зовнішніх впливів. Зокрема, у співробітництві з професором Л.О. Вретік з Київського національного університету імені Тараса Шевченка ми отримали латекси наночастинок полістиролу, покритих оболонкою біосумісного термочутливого полімеру полі(N-ізопропілакриламід) (ПНІПАМ), яка, у свою чергу, містить спряжені полімери поліанілін або полі(3,4-етилендіокситіофен) (ПЕДОТ) [14, 15].

Слід зазначити, що термочутливість ПНІПАМу проявляється в тому, що за певної критичної температури (близько 32 °C) в розчині він стає гідрофобним, а його набухлі у воді наночастинок виштовхують воду і, відповідно, зменшуються в розмірах. Тут важливим є те, що якщо вода в цій набухлій наночастиці міститиме, наприклад, розчинені ліки, а сама наночастинка знаходитиметься поблизу хворого органу людини, то при незначному додатковому нагріві ліки «виштовхнуться» до цього органу. Однак проблема полягає в тому, що критична температура фазового переходу ПНІПАМу (32 °C) досить далека від температури тіла, а отже, для такого застосування її потрібно підвищувати. Ми спробували вирішити цю проблему введенням до складу оболонки ПНІПАМу спряженого полімеру, що дозволило підвищити критичну температуру ПНІПАМу в оболонці до 33,9 °C. Цей результат підсилюється тим, що спряжений полімер може запускати таке підвищення температури при освітленні інфрачервоним лазером завдяки його здатності поглинати інфрачервоне випромінювання, що супроводжується виділенням тепла. Звісно, кількість виділеного тепла залежить від вмісту спряженого полімеру в оболонці ПНІПАМу. Наприклад, для латексу з найвищим вмістом поліаніліну (а це менш як 10 мас. %) ми досягли зростання його температури на 6 °C за 5 хв (рис. 6). Отримані результати свідчать, що такі латекси мають перспективу використання в системах доставки ліків у живих організмах.

Синтезовані нами сенсорні електропровідні наноконструкції спряжених полімерів з



**Рис. 7.** Застосування полідопаміну та його гібридного нанокompозиту з галуазитними нанотрубками для сорбції сполук урану та плутонію. СПЕМ-знімки: *а* – нанокompозит полідопаміну з галуазитними нанотрубками; *б* – наночастинки синтезованого полідопаміну, *в* – наночастинки синтезованого полідопаміну зі сполукою урану

вуглецевими нанотрубками виявилися ще й хорошими наповнювачами нанокompозитів для екранування електромагнітного випромінювання. Ми використали їх для виготовлення тернарних нанокompозитів з механічно міцними полімерними сполучними. Зокрема, з додаванням таких бінарних нанокompозитів поліаніліну або поліпіролу в промислові полімери полівініліденфторид або полівінілхлорид було отримано композитні плівкові матеріали з ефективністю електромагнітного екранування в гігагерцовому діапазоні частот 43–44 дБ.

Сенсорні властивості спряжених полімерів та їх нанокompозитів проявляються і в їх оборотній здатності поглинати з природних водних середовищ іони важких металів та інші токсичні сполуки [16]. Показовим прикладом такого використання синтезованих нами нанокompозитів спряжених полімерів є застосування біополімеру полідопаміну та його нано-

композитів з галуазитними нанотрубками для видалення радіонуклідів урану і плутонію з водних середовищ [17] (рис. 7).

Ці роботи ми проводили у співпраці з доктором хімічних наук В.М. Близнюком з університету м. Клемсон (США). Максимального ефекту було досягнуто для U(VI) – близько 500 мг урану на 1 г полідопаміну.

*Автор висловлює подяку своїм колегам д.ф.-м.н. О.Л. Куклі, проф., д.х.н. Л.О. Вретік, проф. Ж.-Л. Вожкієвичу, д.х.н. В.М. Близнюку, д.ф.-м.н. М.В. Петричуку, к.х.н. М.О. Огурицову, к.х.н. Ю.В. Носкову, к.х.н. С.Д. Михайлову, к.ф.-м.н. Ю.П. Пірятинському, к.х.н. Г.В. Дударенко, А.В. Мамікіну, І.Є. Миронюк, О.С. Кругляк за активну допомогу у створенні, дослідженні та пошуку нових сфер використання цих перспективних матеріалів на основі спряжених полімерів.*

## REFERENCES

1. Yoshida M., Lahann J. Smart Nanomaterials. *ACS Nano*. 2008. **2**(6): 1101–1107. <https://doi.org/10.1021/nn800332g>
2. Su M., Song Y. Printable Smart Materials and Devices: Strategies and Applications. *Chem. Rev.* 2022. **122**(5): 5144–5164. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.chemrev.1c00303>
3. Kausar A. *Conducting Polymer-Based Nanocomposites: Fundamentals and Applications*. Elsevier, 2021. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-04495-0>
4. Heeger A.J. Semiconducting and Metallic Polymers: The Fourth Generation of Polymeric Materials. *J. Phys. Chem. B*. 2001. **105**(36): 8475–8491. <https://doi.org/10.1021/jp011611w>
5. Ogurtsov N.A., Noskov Y.V., Bohvan S.I., Klepko V.V., Petrichuk M.V., Pud A.A. Effect of the Dopant Anion and Oxidant on the Structure and Properties of Nanocomposites of Polypyrrole and Carbon Nanotubes. *Theor. Exp. Chem.* 2018. **54**(2): 114–121. <https://doi.org/10.1007/s11237-018-9554-x>
6. Li G., Josowicz M., Janata J., Semancik S. Effect of thermal excitation on intermolecular charge transfer efficiency in conducting polyaniline. *Appl. Phys. Lett.* 2004. **85**: 1187–1189. <https://doi.org/10.1063/1.1779948>
7. Pud A.A., Ogurtsov N.A., Noskov Yu.V., Mikhaylov S.D., Piryatinski Yu.P., Bliznyuk V.N. On the importance of interface interactions in core-shell nanocomposites of intrinsically conducting polymers. *SPQEO*. 2019. **22**(4): 470–478. <https://doi.org/10.15407/spqeo22.04.470>
8. Ogurtsov N.A., Noskov Y.V., Fatyeyeva K.Yu., Ilyin V.G., Dudarenko G.V., Pud A.A. The deep impact of the template on molecular weight, structure and oxidation state of the formed polyaniline. *J. Phys. Chem. B*. 2013. **117**(17): 5306–5314. <https://doi.org/10.1021/jp311898v>
9. Mikhaylov S., Ogurtsov N., Noskov Y., Redon N., Coddeville P., Wojkiewicz J.-L., Pud A.A. Ammonia/amines electronic gas sensors based on hybrid polyaniline-TiO<sub>2</sub> nanocomposites. The effects of titania and the surface active doping acid. *RSC Adv.* 2015. **5**(26): 20218–20226. <https://doi.org/10.1039/C4RA16121A>
10. Noskov Yu., Ogurtsov N., Bliznyuk V., Lvov Yu., Pud A. Synthesis and properties of core-shell halloysite-polyaniline nanocomposites. *Appl. Nanosci.* 2022. **12**: 1285–1294. <https://doi.org/10.1007/s13204-021-01812-9>
11. Wojkiewicz J.-L., Bliznyuk V.N., Carquigny S., Elkamchi N., Redon N., Lasri T., Pud A.A., Reynaud S. Nanostructured polyaniline-based composites for ppb range ammonia sensing. *Sens. Actuators B. Chem.* 2011. **160**(1): 1394–1403. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2011.09.084>
12. Le Maout P., Wojkiewicz J.-L., Redon N., Lahuec C., Seguin F., Dupont L., Mikhaylov S., Noskov Yu., Ogurtsov N., Pud A. Polyaniline nanocomposites based sensor array for breath ammonia analysis. Portable e-nose approach to non-invasive diagnosis of chronic kidney disease. *Sens. Actuators B. Chem.* 2018. **274**: 616–626. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.07.178>
13. Ogurtsov N.A., Mamykin A.V., Kukla O.L., Pavluchenko A.S., Borysenko M.V., Piryatinski Yu.P., Wojkiewicz J.-L., Pud A.A. The Impact of Interfacial Interactions on Structural, Electronic, and Sensing Properties of Poly(3-methylthiophene) in Core-Shell Nanocomposites. Application for Chemical Warfare Agent Simulants Detection. *Macromol. Mat. Eng.* 2022. **307**(4): 2100762. <https://doi.org/10.1002/mame.202100762>
14. Vretik L.O., Noskov Yu.V., Ogurtsov N.A., Nikolaeva O.A., Shevchenko A.V., Marynin A.I., Kharchuk M.S., Chepurna O.M., Ohulchanskyy T.Y., Pud A.A. Thermosensitive ternary core-shell nanocomposites of polystyrene, poly(N-isopropylacrylamide) and polyaniline. *Appl. Nanosci.* 2020. **10**: 4951–4964. <https://doi.org/10.1007/s13204-020-01424-9>
15. Vretik L.O., Noskov Yu.V., Chepurna O.M., Ogurtsov N.A., Nikolaeva O.A., Marynin A.I., Ohulchanskyy T.Y., Pud A.A. Dual Stimuli-Responsive Ternary Core-Shell Polystyrene@Pnipam-Pedot Latexes. *Part. Part. Syst. Charact.* 2023. 2300096. <https://doi.org/10.1002/ppsc.202300096>
16. Sun Y., Shao D., Chen C., Yang S., Wang X. Highly Efficient Enrichment of Radionuclides on Graphene Oxide-Supported Polyaniline. *Environ. Sci. Technol.* 2013. **47**: 9904–9910. <https://doi.org/10.1021/es401174n>
17. Bliznyuk V.N., Kołacińska K., Pud A.A., Ogurtsov N.A., Noskov Yu.V., Powell B.A., DeVol T.A. High effectiveness of pure polydopamine in extraction of uranium and plutonium from groundwater and seawater. *RSC Adv.* 2019. **9**(52): 30052–30063. <https://doi.org/10.1039/C9RA06392G>



Alexander A. Pud

*V.P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0681-633X>

#### NANOCOMPOSITES OF CONJUGATED POLYMERS FOR SENSOR APPLICATIONS

According to the materials of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine,  
September 20, 2023

The report reveals the results of fundamental and applied research carried out at the V.P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry of the NAS of Ukraine and aimed at the development and study of new multifunctional hybrid nanocomposites of conjugated polymers with reversible sensitivity to various physical and chemical impacts and the ability to register or sense changes in the atmosphere or breath of the sick, carry diagnostic substances or drugs in the human body, absorb ions of heavy metals and toxic organic compounds from various natural waters and other media, shield/absorb electromagnetic radiation, etc. Particular attention is paid to the application of developed materials for the sorption of hazardous compounds from water media and to the study of latex nanocomposites of electrically conductive polymers with thermal and light sensitivity.

**Cite this article:** Pud A.A. Nanocomposites of conjugated polymers for sensor applications. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2023. (11): 93–101. <https://doi.org/10.15407/visn2023.11.093>